

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-126739

(43) 公開日 平成9年(1997)5月16日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/24			G 0 1 B 11/24	K
G 0 6 T 7/00			G 0 6 F 15/62	4 1 5

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 6 頁)

(21) 出願番号	特願平7-308587
(22) 出願日	平成7年(1995)11月2日

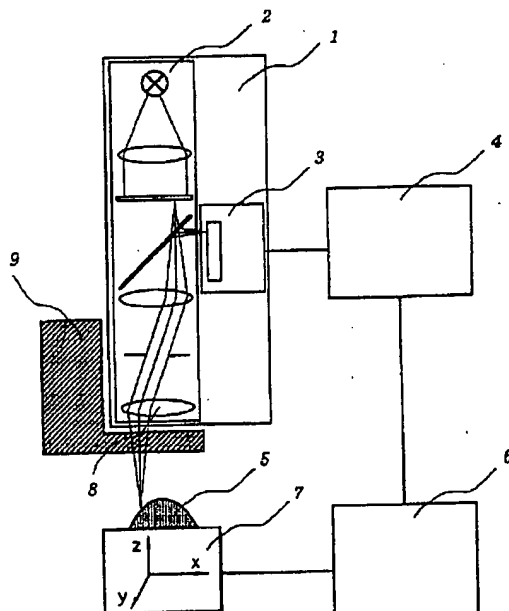
(71) 出願人	000002842 株式会社高岳製作所 東京都千代田区大手町2丁目2番1号
(72) 発明者	石原 満宏 愛知県西春日井郡西枇杷島町芳野町3丁目 1番地 株式会社高岳製作所技術開発セン ター内

(54) 【発明の名称】 立体形状計測装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、2次元配列型共焦点光学系を用いた高速、高精度の立体形状測定装置を提供する。

【解決手段】 2次元配列型共焦点光学系2とその像を光電変換する2次元光電センサ3とよりなる共焦点撮像系1と、共焦点撮像系1の焦点位置変化手段9と、共焦点走査撮像系1と焦点位置変化手段9とから得られた焦点位置の異なる複数枚の画像から、画像の濃度情報を用いて、画像の焦点位置間隔を超える精度で画像各点の合焦位置を求めることで物体の立体形状を演算する画像処理装置4とにより構成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体の立体形状を光学的に計測する装置において、2次元配列型共焦点光学系と2次元配列型共焦点光学系により得られる2次元光学像を光電変換する2次元光電センサとより構成された共焦点撮像系と、前記2次元配列型共焦点光学系の焦点位置を変える焦点位置変化手段と、前記共焦点撮像系と前記焦点位置変化手段とにより得られた焦点位置の異なる複数の画像を取り込み、焦点位置の変化に対応して変化する画像各点の濃度値から、取り込まれた画像の焦点位置間隔を超える精度で、濃度値の最大値を与える焦点位置を内挿処理を用いて画像各点毎に推定し、推定した焦点位置をその点の高さとする処理を実行する画像処理装置とから構成されることを特徴とする立体形状計測装置。

【請求項 2】 焦点位置変化手段が、互いに厚さの異なる複数の平行平板形の透明体か又は互いに屈折率の異なる複数の平行平板形の透明体を、物体と共焦点光学系の共焦点結像面間の光路に順次挿入するようにしたものであることを特徴とする請求項 1 記載の立体形状計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、共焦点光学系により得られる画像から物体の三次元的な形状を計測する立体形状計測装置に関する。

【0002】

【従来の技術】共焦点光学系は物体の三次元的な形状の計測手段として知られている。共焦点光学系の基本構成を図 6 に示す。ピンホール 61 を通して射出された照明光は対物レンズ 62 により集光され焦点面 63 に収束する。この位置に物体表面 64 がある場合、物体の反射光は照明光と全く逆の過程でピンホール 61 に収束し、対物レンズ 62 に入射した反射光のほとんどがピンホール 61 を通過する。しかし、物体表面 64 が焦点面 63 から離れると反射光の収束点も図中波線で示すようにピンホール 61 から離れることになりピンホール 61 を通過する光量は減少する。この関係（焦点面からのずれとピンホール 61 を通過する反射光の強度との関係）を図 4 に示す。物体と対物レンズ 62 との距離を Z ステージなどを用いて変化させ、ピンホール 61 を通過する反射光の強度を光センサによりサンプリングし、信号処理により最大値を探して、その位置を求めれば（図 4 より光センサの出力が最大となる位置は物体表面の位置、つまり高さを示しているから）物体の高さが計測できることになる。順次平面（XY）方向に物体を移動させて同様の計測を行うことで立体形状計測が可能となる。

【0003】ここで示した立体形状計測の原理に忠実に作られた装置（以下従来装置 A とする）は計測速度の点で問題がある。つまり計測単位が点であるために、物体の表面形状全体の計測の場合膨大な回数の計測を繰り返

さなければならない（一点の計測ごとに載物台の XY 方向への移動と高さ計測のための Z 方向への移動が必要になる）。

【0004】従来装置 A の計測速度を大幅に改善したものとして特開平 4-265918 号公報に開示された装置（従来装置 B とする）がある。この装置の構成を図 5 に示す。この装置の特徴は、計測単位が従来装置 A のような点ではなく面であることにある。プレート 32 には多数のピンホールが 2 次元配列されており、光源 31 によりすべてのピンホールが同時に照明される。テレセントリック絞り 36 および対物レンズ 8 を通り XYZ 方向に移動可能な載物台 7 上の物体 5 で反射した光は同じ対物レンズ 8 とテレセントリック絞り 36 とを通過し、ハーフミラー 33 を介して CCD センサ 34 上に直接結像する。CCD センサ 34 は微小な（CCD センサ 34 内 1 画素の領域のごく一部を占めるにすぎない大きさの）点検出型光センサが 2 次元配列されたものだから、ピンホールの位置と点検出型光センサの位置との位置対応がとれていれば共焦点ピンホールがなくても共焦点光学系として働く。以下ではこのように 2 次元領域を同時に並列に露光（検出）する共焦点撮像系の光学系部分（CCD センサ 34 を含まない）を 2 次元配列型共焦点光学系と呼ぶことにする。

【0005】この 2 次元配列型共焦点光学系は従来装置 A における共焦点光学系が並列に多数個 2 次元配列されたものと同等と考えられるから、同時に大量のデータが得られ、載物台 7 の XY 方向への移動が大幅に少なくなる。特に物体が十分小さいならば載物台 7 の XY 方向移動は必要ない。

【0006】また、高さ計測のための載物台 7 の Z 方向移動も CCD センサ 34 に結像する 2 次元領域に対しては 1 走査のみでよい。この高さ計測をより具体的に述べると、載物台 7 を微小ステップずつ Z 方向に移動させ、その度得た画像（CCD センサ 34 による光強度のサンプリング）からそれまでの濃度の最大値とその最大値を与える位置を画像の各点（画素）毎に記憶する。Z 方向移動が終了すると記憶された画素毎の情報は、CCD センサ 34 に結像する 2 次元領域の物体の立体形状を表わしている。

【0007】2 次元配列型共焦点光学系を用いる利点は、従来装置 A のように機械的な XY 走査を行うものに対してだけでなく、共焦点レーザー走査顕微鏡のように光学的に XY 走査を行うものに対しても見い出せる。それは高さ計測のための載物台 7 の Z 方向移動が、ステップ送りではなく連続移動でもよい点である（連続移動はステップ移動に比べてはるかに高速に Z 方向走査ができる）。即ち共焦点レーザー走査顕微鏡で連続移動を行えば、得られる画像内の一点一点は走査により時間的にずれがあるから、画像内の一点一点は微妙に異なる Z 位置のデータを示すことになり誤差が発生してしまうのに対

し、全画素が同時に露光されるという2次元配列型共焦点光学系を用いる場合にはCCDセンサ34の電子シャッター機能が利用できることになり同一タイミングで2次元画像が得られる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】このように2次元配列型共焦点光学系を用いた従来装置Bは従来装置Aに対し大幅な高速化を可能とした装置である。しかしながら、この装置においてもまだ十分な高速化が達成されたものではなく、より、高速度用途に適用できない問題がある。その高速化を阻害しているのは次の点である。すなわち、CCDセンサ34の露光は全画素（2次元領域）同時に行われるのであるが、CCDセンサ34の信号読み出しはシリアルであるから、全画素に対する最大値検出のための信号処理に必要な時間はまったく短縮されない点である。画像入力は、必要となる分解能ずつ行われその度に最大値検出のための処理を実行する必要があるためZ方向の計測範囲全体では膨大な処理をしなければならない。例えば、分解能1 $\mu\text{m}$ で計測範囲200 $\mu\text{m}$ を処理するためには1 $\mu\text{m}$ ずつ異なったZ位置で200回の画像入力が必要で、その度に最大値検出演算をCCDセンサ34の画素の数（例えば500 $\times$ 500）だけ実行する必要がある。

【0009】このように従来装置Bであっても、計測速度にはまだ課題があり、本発明では共焦点撮像系を用いた高さ計測について、さらに高速化した装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明では、2次元配列型共焦点光学系と2次元配列型共焦点光学系により得られる2次元光学像を光電変換する2次元光電センサとより構成された共焦点撮像系と、前記2次元配列型共焦点光学系の焦点位置を変える焦点位置変化手段と、前記共焦点撮像系と前記焦点位置変化手段とにより得られた焦点位置の異なる複数の画像を取り込み、焦点位置の変化に対応して変化する画像各点の濃度値から、取り込まれた画像の焦点位置間隔を超える精度で、濃度値の最大値を与える焦点位置を内挿処理を用いて画像各点毎に推定し、推定した焦点位置をその点の高さとする処理を実行する画像処理装置とから構成する。かかる構成により必要とする分解能より粗い間隔で画像入力を行えばよいため焦点位置変化手段によるZ方向移動の回数と処理すべき画像の枚数が大幅に削減できる。例えば、先の例と同じく分解能1 $\mu\text{m}$ で計測範囲200 $\mu\text{m}$ を処理する場合、内挿処理により画像の焦点位置間隔（光量サンプリング間隔）の1/10の分解能が得られとすれば、Z方向移動の回数、処理する画像の枚数、共に1/10でよい。このように2次元光電センサからの画像の取り込み枚数を大幅に減少させることで高速計測が可能となる。

【0011】また焦点位置変化手段は、互いに厚さが異なる複数の平行平板形の透明体か又は互いに屈折率が異なる複数の平行平板形の透明体を、物体と共焦点光学系の共焦点結像面間の光路に順次挿入するように構成することにより、共焦点光学系と物体との光路長が変えられることからZテーブルや載物台を移動させることなく焦点位置変化が可能になる。これにより、Zテーブルや載物台の機械的な移動に比べてはるかに速い焦点位置変化ができるので、より高速の計測が可能となる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態2例について説明する。

第1例 濃度値から焦点位置を推定する例

図1は本発明に係る立体形状計測装置の側面図である。共焦点撮像系1は2次元配列型共焦点光学系2と2次元光電センサ3とからなり、その出力映像信号は画像処理装置4に入力される。尚、図1の例では2次元配列型共焦点光学系2の構成は従来技術Bとして説明したものと同じであるが、本発明に使用する2次元配列型共焦点光学系2の構成としてはこれに限られるものではなく、基本的に、2次元光電センサ上の1点1点（画素）が共焦点光学系により同時に露光される構成であればよい。例えば、図5において、プレート32とハーフミラー33を介して光学的に同等な位置（図5のCCDセンサ34がある位置）に、プレート32と同様の2次元配列ピンホールを有するプレートを設け、ピンホールを通過した光を結像レンズによりCCDセンサ34上に結像させたものでもよいし、または、照明光と反射光の光路を分けるハーフミラー33をプレート32の上側に配置し、プレート32に照明用のピンホールと受光用のピンホールを兼ねさせるような構造のものでもよい。また、2次元光電センサ3についても必ずしもCCDセンサである必要はなく、CIDやMOSタイプの個体撮像素子でもよいし、ビジコンなどの撮像管でもよい。

【0013】物体5はXYZ方向に移動可能な載物台7の上に置かれており、載物台7はコントローラ6を介して画像処理装置4により制御されるようになっている。もちろん画像処理装置4以外の制御器（例えばパソコン）が載物台7を制御するものでもよい。

【0014】本発明に用いる装置は従来技術Bの装置と構成上の違いはほとんど無い。本装置と従来技術Bとの違いは画像処理装置4の処理を中心とした物体の高さ計測手法にある。この点について詳しく述べる。共焦点撮像系1により得られる画像において、その一点一点の濃度値は、対応する物点（物体5上の点）の合焦状態を示す。つまり載物台7により光軸方向に物体5を移動させたとき、画像各点（画素）の濃度値は、図4に示すような山形となり、山のピーク位置が合焦点位置を示している。合焦点位置が物点の高さを示しているから、結局物体5の高さは、画素毎に濃度値の最大値を与える位置を

求めてやればよい。この濃度値の最大値を与える位置（以下最大位置と呼ぶ）の求め方が本発明の固有の部分である。従来装置Bにおいては載物台7をZ方向に移動させ、計測分解能に等しい間隔毎に画像を得て、その度にそれまでの最大値とその最大値を与える位置を画素毎に記憶するようにして最大位置を求めているが、本発明は載物台7をZ方向に移動（2次元配列型共焦点光学系2の特徴を生かして高速連続移動）させ、計測分解能より広い間隔で画像を取得し、各画素毎に最大値を与える位置は画像間の各画素の濃度値から内挿処理を用いて推定するようにするものである。

【0015】具体例を示す。2次元配列型共焦点光学系2における光強度と合焦点位置からのずれの関係は、照明光の波数を $k$ 、2次元配列型共焦点光学系2内の対物レンズ8の開口数を $\sin \theta$ 、焦点位置からのずれを $z$ として、 $\text{光強度} = (|\sin kz(1 - \cos \theta)| / |kz(1 - \cos \theta)|)^2$ により与えられることが知られている（論文「Depth response of confocal optical microscopes」、OPTICS LETTERS、Vol. 11, No. 12, 1986年、T. R. Corle他参照）。照明光の波長が550nm、対物レンズ8の開口数が0.1の場合の例を図4に示す。山の幅（center lobeの幅）は約100 $\mu\text{m}$ 程度あるから、サンプリング点が山のなかに少なくとも2つは入るように載物台7の移動時の画像入力間隔を50 $\mu\text{m}$ として高さ計測を行う。計測範囲は500 $\mu\text{m}$ とする。

【0016】載物台7をZ方向に移動して50 $\mu\text{m}$ 毎に11枚の焦点位置の異なる画像を得る。それぞれの画像の物体5上の同一位置を表す点の濃度を焦点位置座標（Z座標）上に並べると、これは図4に示した連続波形をサンプリングしたものとなる。サンプリングの一例を図4に点線で示している。Z座標と光強度（画像では濃度）の関係は前記の光強度モデルで正確に表せるため、離散的な情報から山のピーク位置（以下ピーク位置とする）つまり合焦点位置を精度よく、サンプリング間隔を超える精度で推定できる。例えば山の形状によく似た関数であるガウス関数を用いてピーク位置を解析的に求める。即ち、サンプリング値の最大値 $v_1$ とその前後のどちらか1点 $v_2$ の計2点の値からピーク位置 $p$ を次のように算出する。 $p = p_1 + (1 + a_2(v_2 - v_1)) / 2$ 。ここに $p_1$ は $v_1$ のZ座標であり、 $a$ は山の広がりを示すパラメーターで照明の波長と対物レンズ8の開口数で決まる定数である。ピーク位置の演算方法としてはこのほか3点以上の点を用いてもよい（ただしこの場合は山のなかに少なくとも3つサンプリング点が入るようにサンプリング間隔を狭く変更する必要がある）。また、ガウス関数によるものでなく、2次関数などの他の似た形状の関数を用いても可能である。もちろんモデル式を直接用いることもできる。他にもモーメントを用い

た演算などが可能である。これらの演算処理のより高速化のために、演算結果を事前にLUTに格納しておき、その結果を参照するようにすることもできる。上記の演算を画像中の全ての点に対して実行することで物体5の立体形状を求めることができる。

【0017】この演算手法により、サンプリング間隔の1/20程度の分解能は十分得られると考えられ、この例では2.5 $\mu\text{m}$ の分解能となる。従来装置Bで同等の計測をするためには、2.5 $\mu\text{m}$ ずつ焦点位置の異なる201枚の画像を処理する必要があるから、それに比較して本発明では大幅な高速化が達成できる。

【0018】第2例 第1例に加え焦点位置変化手段に互いに厚さが異なる平行平板透明体を用いた例

図2は第2例の構成図である。第1例にさらに、焦点位置変化手段9を加えたものである。第1例が載物台7により焦点位置を変化させていたのに対し、この例では互いに厚さが異なる平行平板透明体を対物レンズ8の光路に挿入することで、物体5と対物レンズ8間の光路長を変化させて、焦点位置を変えるようにしたもので、それにより非常に高速に焦点位置を変えることを可能としたものである。以下に具体的に述べる。

【0019】先に述べたように、本発明においては高さ方向（Z方向）に対して複数枚の画像を比較的広い間隔でサンプリングする。この場合、載物台7による移動のように連続的にZ座標の位置が変化するのではなくサンプリング間隔で段階的に精度良く変化するのが望ましい。（ここに精度とは繰り返し変化させた場合に常に同じ位置に変化する度合、いわゆる繰り返し精度のことであって、サンプリング間隔そのものの精度ではない。例えば50 $\mu\text{m}$ ずつ変化させるところがある区間は48 $\mu\text{m}$ 、またある区間は52 $\mu\text{m}$ となるのは問題ではなく、繰り返し常に同じ位置に来ることが重要である。）また画像一枚毎に（2次元光電センサからの出力映像信号がNTSC規格のものであれば1/30秒毎に）異なる焦点位置の画像が得られれば理想的で、それが最高速である。請求項2に示す発明はこの最高速の画像入力を支える手段である。焦点位置変化手段9の基本構成を図3にて説明する。

【0020】回転体51の周上に互いに厚さが異なる複数の平行平板ガラス52を配置し、モーター53により回転させるようにしたものである。この構成のものを2次元配列型共焦点光学系の対物レンズの光軸に回転体51上の平行平板ガラス52が次々と挿入されるように配置する。挿入された平行平板ガラス52の厚みに応じて2次元配列型共焦点光学系の対物レンズと物体との光路長が変化するので、それはすなわち焦点位置が変化することになる。平行平板ガラス52の厚さは、焦点位置がサンプリング間隔分変化するような厚さずつ厚みが異なるようにそれぞれ決定する。このようにして上記の課題が達成される。すなわち光軸と交差する平行平板ガラス

52の変化は段階的な焦点位置変化をもたらし、ガラスの厚さは(温度による膨張、収縮を考えなければ)一定であるから繰り返し誤差は発生せず、共焦点撮像系の撮像タイミングを考慮して回転体51の連続回転速度を決めることによって共焦点撮像系の撮像毎に焦点位置の異なる画像を得ることができるようになる。

【0021】また2次元配列型共焦点光学系の全面露光同時露光の特徴により平行平板ガラス52の大きさを対物レンズの結像光束の通過する範囲(図3に斜線で表示)より回転方向には小さくすることができるため回転板51全体が小さくてすむ。

【0022】平行平板ガラス52は平行平板な透明体であればよく、例えば光学樹脂や光学結晶、またこれらに封入された液体や液晶でもよい。また、互いに屈折率の異なる平行平板透明体を用いてもよい。

【0023】

【発明の効果】以上のように構成することにより、共焦点光学系を用いた高速な立体形状測定が可能となる。この装置によりLSIの実装時の検査、例えばTABのインナーリードのハガレやフォーミング異常の検査、ボンディングワイヤのループ高さ検査、バンプ形状検査など\*

\*のインライン検査が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示した図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態を示した図である。

【図3】本発明の焦点位置変化の手段の一例を示した図である。

【図4】焦点位置からのずれと光強度との関係を示した図である。

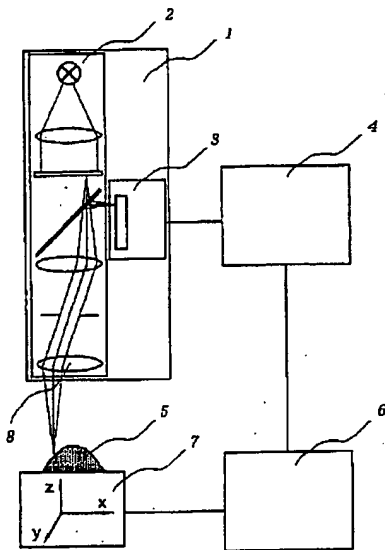
【図5】従来技術を説明するための図である。

10 【図6】共焦点光学系の基本構成を示した図である。

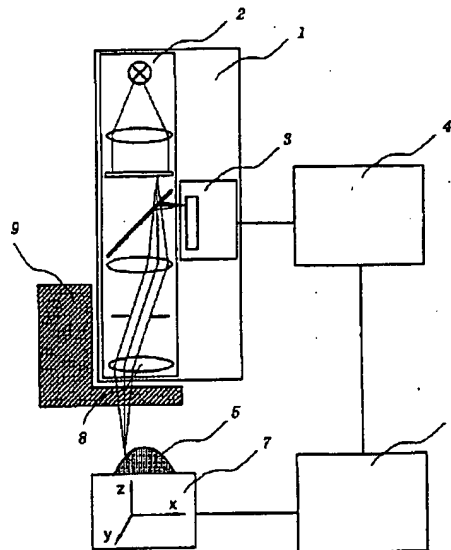
【符号の説明】

- |      |              |
|------|--------------|
| 1    | 共焦点撮像系       |
| 2    | 2次元配列型共焦点光学系 |
| 3    | 2次元光電センサ     |
| 4    | 画像処理装置       |
| 5    | 物体           |
| 6    | コントローラ       |
| 7    | 載物台          |
| 8    | 対物レンズ        |
| 20 9 | 焦点位置変化手段     |

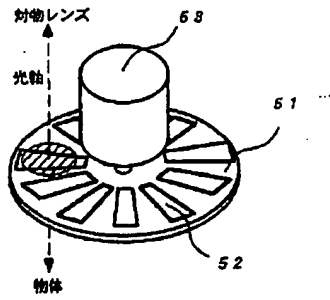
【図1】



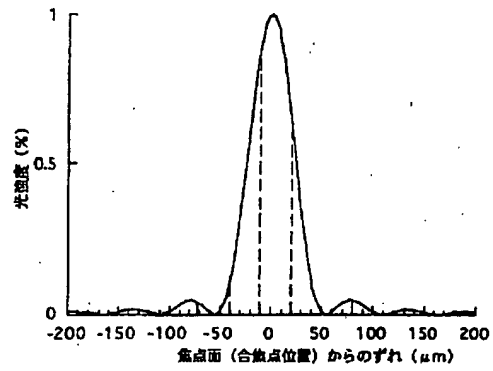
【図2】



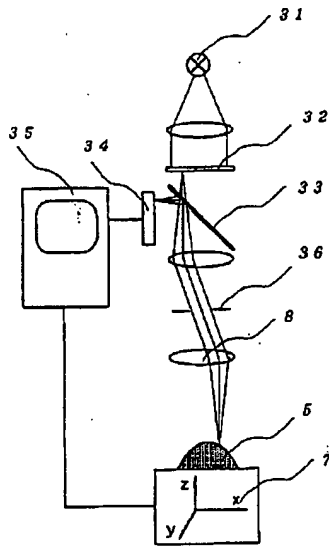
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

